

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav automatizace a měřicí techniky

Ing. Marie Havlíková

DIAGNOSTIKA SYSTÉMU S LIDSKÝM OPERÁTOREM

DIAGNOSTIC OF SYSTEMS WITH A HUMAN OPERATOR

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

Obor: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika
Školitel: Doc. Ing. Zdeněk Malec, CSc., FEKT VUT Brno

1 ÚVOD.....	3
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	3
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	4
4 LIDSKÝ REGULÁTOR	5
4.1 Lidská zpětná vazba	5
4.2 Neuromuskulární systém člověka	6
4.3 Kompenzační řízení a lidský operátor	7
5 MODEL Y ŘIDIČE.....	8
5.1 Modely pro podélné řízení	8
5.2 Modely pro příčné řízení.....	9
5.2.1 Prediktivní kompenzační modely	9
5.2.2 Modely „prewiev“.....	9
5.2.3 Modely řidiče s více vstupy	9
5.3 Přenosové funkce řidiče	10
5.4 Projevy únavy a řízení vozidla.....	11
6 SIMULAČNÍ MODEL Y ŘIDIČ-VOZIDLO.....	11
6.1 Simulace parametrů a časových konstant	14
6.2 Hodnocení korelace simulačních jízd	14
7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH JÍZD.....	15
7.1 Výsledky statistické analýzy	16
7.2 W Test normality statistických souborů.....	16
7.3 Výsledky pravděpodobnostní analýzy	17
7.4 Výsledky spektrální analýzy	18
7.5 Výsledky zátěžových jízd za 24 hodin.....	19
8 ZÁVĚR.....	21
9 LITERATURA	22
10PUBLIKACE.....	23
11CURRICULUM VITAE	23
12ABSTRACT	24

1 ÚVOD

Přítomnost běžných systémů *MMS* (Man-Machine-System) a jejich ovládání si mnohdy člověk ani neuvědomuje. Staly se naprostou samozřejmostí. Při vzájemném působení člověka a technického systému je zásadní a nejdůležitější hledisko bezpečnosti. Zvláště důležitý je bezpečný provoz rizikových systémů a provozů, jejichž selhání nebo výskyt poruchy by vedly k živelné katastrofě, ohrožení života velkého množství lidí, k velkým materiálním škodám nebo k zamoření životního prostředí. Živelné katastrofy jako jsou havárie v jaderných elektrárnách, chemických zařízeních, letecké a námořní katastrofy vedly k tomu, že se pozornost vědeckých týmů od druhé poloviny 20. století soustředila na hodnocení lidského faktoru v systémech *MMS*. Od této doby jsou prováděny podrobné analýzy a vyhodnocují se příčiny havárií. Statistické údaje prokazují, že až 90% selhání způsobuje lidský faktor [1]. Tento výsledek se může jevit jako nevěrohodný, ale je nutno si uvědomit, že člověk jako živá bytost podléhá biologickým zákonům a je nemožné předpokládat, že bude naprosto neomylně zvládat pracovní činnosti po neomezenou dobu. Je nutné počítat s tím, že i on bude dělat chyby a provede nekorektně manipulaci nebo učiní chybné rozhodnutí při řídicích činnostech.

Proces řízení vozidla patří v dnešní době mezi jednu z nejčastěji se vyskytujících činností člověka a zároveň o činnost velmi nebezpečnou, při které může dojít ke ztrátě života nebo ke zranění, pokud dojde k technické závadě na vozidle nebo selhání lidského řidiče. Jednou z možných příčin takového selhání lidského řidiče je jeho únava. Je známo, že většinu dopravních nehod způsobuje lidský faktor a světové statistiky uvádějí [2], že až 30 % nehod způsobuje únava řidiče. Moderní automobily mají zabudovaná různá doplňková zařízení, která monitorují a testují bezchybnou funkci všech důležitých subsystémů a v případě překročení dovolených mezí podávají hlášení o vzniklých závadách. Parametry spolehlivosti technických bloků vozidla jsou dobře monitorovány. Jediným prvkem, který není v současné době v systému *člověk – vozidlo* takto sledován z hlediska spolehlivosti je právě lidský řidič.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cíle disertační práce se dají formulovat do několika základních bodů.

Studium problematiky systémů s lidským operátorem, kde chování lidského subjektu je v současné době velmi sledované. Zaměřit se zejména na hodnocení lidské spolehlivosti a poznat vlivy, které degradují jak spolehlivost člověka, tak spolehlivost a bezpečnost celého systému *MMS*.

Nalézt vhodné přenosové funkce lidského operátora ve funkci akčního členu v systému *MMS*, které odpovídají činností na regulační úrovni, popsat jejich fyziologickou podstatu a zvolit vhodný tvar přenosové funkce pro modelování lidského řidiče pro příčné kompenzační řízení vozidla.

Vytvořit přehled modelů lidského řidiče pro příčné řízení vozidla se zaměřením na sledování projevů a vlivu únavového faktoru, který snižuje schopnosti řidiče a vede ke kritickým stavům.

Navrhnout ve vhodném programovém prostředí model systému *řidič – vozidlo*, na kterém by bylo možné simulovat parametry a časové konstanty přenosové funkce řidiče, které jsou spojovány s únavovým faktorem, nalézt jejich hraniční hodnoty a sledovat kvalitu regulačních zásahů. Porovnat výsledky simulací se skutečnými jízdami řidičů a zjistit míru shody.

Z experimentálně získávaných dat ze zkušebních jízd souborů řidičů analyzovat a detekovat významné charakteristiky dynamického projevu jízdy. Zjistit intervaly hodnot, kterých tyto charakteristiky mohou nabývat u řidičů bez známek únavy. Zjistit, které charakteristiky mají vysokou věrohodnost a nesou dostatečnou informaci o změnách v charakteru jízdy řidiče, a tudíž mají předpoklad, že postihnou změny v dynamice jízdy při nastupující únavě řidiče.

Z experimentálních zkušebních jízd zjistit, k jakým změnám v charakteru jízdy dochází, pokud řidič jeví známky únavy vlivem z spánkové deprivace.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Lidský řidič je universální a efektivní regulátor, řeší rychle neočekávané a nepředpokládané situace, dokáže se pružně přizpůsobit měnícím se podmínkám provozu. Na rozdíl od automatického regulátoru má ale i jisté nevýhody. Podléhá únavě, může být pod vlivem alkoholu nebo drog. To jsou jevy, které degradují jeho reakční dobu a snižují jeho schopnosti správně vykonávat činnosti spojené s řízením vozidla. Únava a pokles pozornosti se nejvíce projevují na dlouhých monotónních jízdách po dálnici, kdy vozidla dosahují vysokých rychlostí a následky selhání řidiče jsou kritické. Rovněž následky nehod způsobených pod vlivem alkoholu jsou těžké. To jsou důvody, proč se pozornost vědeckých týmů zaměřuje na monitorování stavu a chování řidiče a výrobci automobilů ke standardním asistenčním službám, zvyšující komfort řízení vozidla, do technického vybavení vozidel nejvyšších cenových kategorií připojují i systémy pro monitorování řidiče [4].

V současné době existují trendy nahrazovat řidiče automatickým zařízením. Jsou to především projekty automatické dálnice, kde by řízení vozidla zcela převzal tempomat. Na druhé straně ale stojí legislativní omezení, která jednoznačně neřeší problematiku viny v případě nehody. Automobily jsou vybavovány různými druhy asistenčních systémů ADAS (*Advanced Assistance System*), které nepřebírají řízení za řidiče, ale usnadňují mu řízení. Řidič má v rozhodování vyšší prioritu, může se rozhodnout odlišně, než mu doporučuje asistenční systém. V rámci Evropské unie existuje jedna výjimka, kterou prosadila expertní skupina CARS 21. Jedná se o případ bezprostřední kolize, kdy řidič nestačí na nenadálou událost zareagovat a systém plně převezme řízení vozidla [5].

Existují typy asistenčních systémů LDWS (*Lane Departure Warning System*) monitorujících, zda se řidič drží v dopravním pruhu. Tyto systémy sledují okamžitou polohu vozidla pomocí optického vodorovného dopravního značení a obrazových

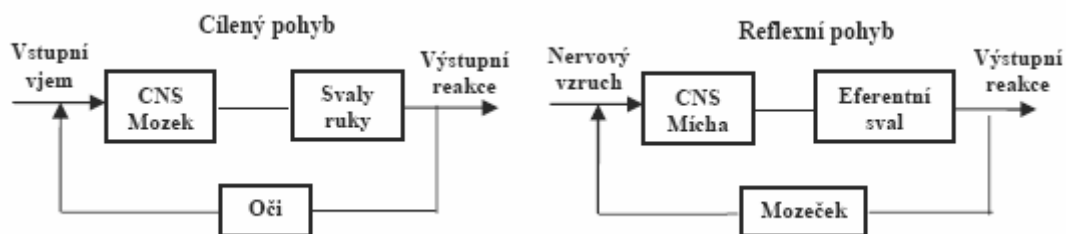
informací z kamery snímající situaci před vozidlem. Jedná se o systémy, které nedávají uspokojivé výsledky a předpokládá se, že budou nahrazeny použitím systému GPS. Alkoholové imobilizéry zabraňují řízení pod vlivem alkoholu. Jako varování před mikrosnávkou nebo poklesem pozornosti jsou zatím v malém měřítku používány systémy pro monitorování pozornosti řidiče DAM (*Driver Alertness Monitoring*) a systémy pro monitorování stavu řidiče DSC (*Driver Status Monitoring*). Jsou to systémy založené na informacích o biologických projevech únavy živého organismu. Vyvíjejí se rovněž asistenční systémy založené na měření elektrických aktivit srdečního svalu (EKG), bioelektrických aktivit mozku (EEG), elektrických aktivit svalů (EMG) nebo systémy sledující činnost nervových struktur, kdy je využívána skutečnost, že vlivem únavy dochází ke zpomalování kognitivních činností a svalové motoriky [3].

4 LIDSKÝ REGULÁTOR

Lidský operátor je v systémech *člověk – stroj* nepostradatelný. Dosud se nepodařilo sestavit zcela univerzální a autonomní regulátor, který by přebíral řízení systému v celém rozsahu a ve stejné kvalitě. Nedaří se člověka zcela nahradit ani při řízení méně složitých strojů jakými jsou např. automobily. Problém spočívá ve složitosti fyziologické podstaty lidského mozku. Dosud nejsou známy a poznány všechny zákonitosti lidského myšlení a myšlenkových procesů.

4.1 LIDSKÁ ZPĚTNÁ VAZBA

Základem adaptivní regulace u technických ale i živých systémů jsou mechanismy zpětných vazeb. Každý biologický systém je možno popsat blokovým schématem, viz obr. 1. V prvním případě se jedná o cílený regulační zásah, který provádějí svaly ruky na příkazy z centrální nervové soustavy (CNS) na základě vizuálních informací. Druhý případ je zpětná vazba uzavírající se přes mozeček, kde je centrum rovnováhy. Řídící příkazy vycházejí z míchy v podobě nervových vzruchů prostřednictvím primárních α -motoneuronů, které inervují eferentní svalová vlákna končetiny. Tento regulační děj je mimovolní a probíhá autonomně mimo mozek, nezávisí tedy na vůli člověka.



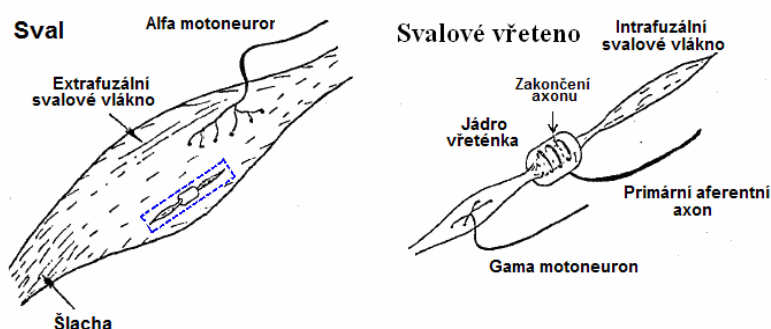
Obr. 1: Biologický regulační obvod

Vlastnosti a kvalitu regulace lze u technických systémů vyšetřovat identifikačními metodami. V případě živého systému je identifikace problematická.

Dosud nejsou dostatečně známy všechny zákonitosti reakcí živých organismů na vstupní podněty a stimuly stejně jako fyziologické pochody zpětných vazeb.

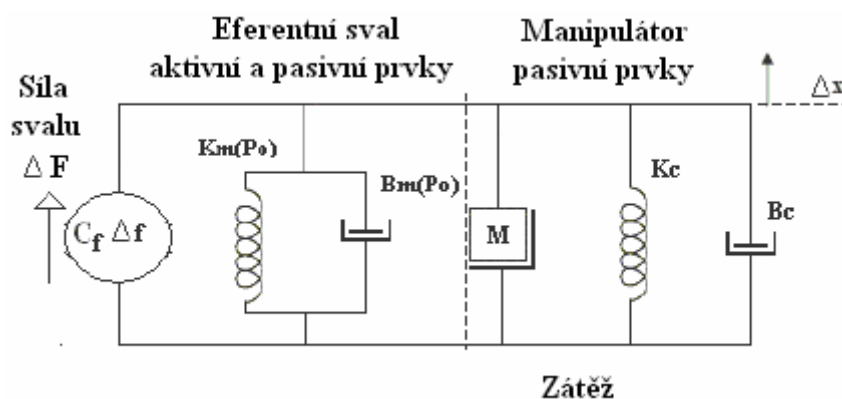
4.2 NEUROMUSKULÁRNÍ SYSTÉM ČLOVĚKA

V terminologii regulační techniky se neuromuskulární systém člověka dá charakterizovat jako adaptivní pohonný systém, který je do určité míry analogický s neživými systémy stejného charakteru. Tvoří ho soubory eferentních svalů, aferentních svalových vřetének, viz obr. 2 a senzorové orgány pracující na míšní úrovni [6], [8].



Obr. 2: Struktura svalu

Jediným vstupním aktivním signálem do pohonného neuromuskulárního systému je změna intenzity vypalování nervových vzruchů Δf způsobující ekvivalentní zvýšení síly eferentního svalu ΔF . Výstupním signálem pohonného systému je změna pozice Δx manipulátoru, viz obr. 3.



Obr. 3: Dynamika eferentního svalového vlákna, pohonný systém [6]

Přenosová eferentního svalového vlákna $G_E(p)$ má tvar:

$$G_E(p) = \frac{\Delta x(p)}{\Delta f(p)} = \frac{C_f}{(K_m + K_c) + (B_m + B_c) \cdot p + M \cdot p^2} = \frac{\frac{C_f}{M}}{p^2 + p \cdot \left(\frac{B_m + B_c}{M} \right) + \frac{K_m + K_c}{M}} \quad (4.1)$$

$\Delta x(p)$ – obraz změny posunutí v Laplaceově transformaci,

$\Delta f(p)$ – obraz změny intenzity vypalování nervových vzruchů,

B_m, B_c – koeficienty tlumiče svalu a tlumiče manipulačního prvku,

K_m, K_c – koeficient pružiny svalu a manipulačního prvku.

V modelech pro neuromuskulární systém se používá přenosové funkce eferentního svalu $G_E(p)$ ve tvaru:

$$G_E(p) = \frac{K_E}{(T_{E1}p + 1) \cdot (T_{E2}p + 1)}, \text{ kde} \quad (4.2)$$

K_E – zesílení eferentního svalového vlákna,

T_{E1}, T_{E2} – časové konstanty odvozené od parametrů náhradních prvků.

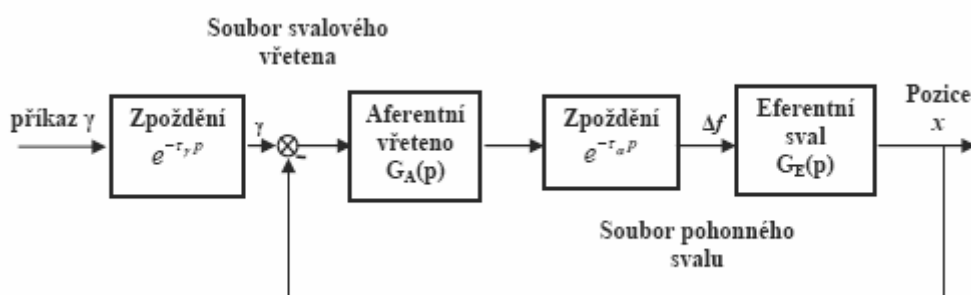
Aferentní svalové vřetenko je sensorický prvek. Vlivem podráždění dochází k deformaci jádra vřetenka a ke změně intenzity vypalování nervových vzruchů do primárního axonu [8]. Přenosová funkce aferentního svalového vřetenka $G_A(p)$ udává vztah mezi velikostí deformace jádra vřetenka $\Delta x(p)$ a změnou intenzity vypalování $\Delta f(p)$ nervových vzruchů, viz (4.3). Fyzikální model aferentního vlákna a matematické úpravy zde nejsou uvedeny.

$$G_A(p) \frac{\Delta x(p)}{\Delta f(p)} = \frac{K_A \cdot (T_{A1}p + 1)}{(T_{A2}p + 1)}, \text{ kde} \quad (4.3)$$

K_A – zesílení aferentního svalového vřetenka,

T_{A1}, T_{A2} – časové konstanty odvozené od parametrů náhradních prvků.

Základní blokové schéma neuromuskulárního systému jako akčního členu v regulačním obvodu, viz obr. 4.

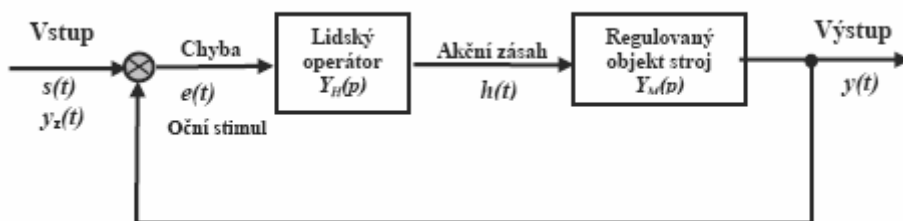


Obr. 4: Blokové schéma neuromuskulárního systému

Dynamika lidského operátora a kvalita jeho manuálního řízení jsou závislé a omezeny povahou, vlastnostmi a schopnostmi neuromuskulárního systému.

4.3 KOMPENZAČNÍ ŘÍZENÍ A LIDSKÝ OPERÁTOR

Nejjednodušší lidský model se získá, když organizace a řízení fyzikálního systému má kompenzační charakter a interní lidské schopnosti a prekognitivní charakter lidského operátora jsou potlačeny. Kompenzační manuální řízení systému, viz obr. 5, reprezentuje mnoho činností člověka, které mají sledovací charakter, jako např. navádění manévry pilotů, stabilizace polohy letadla nebo jízda v jízdních pružích na komunikacích. Souhrnně lze konstatovat, že se jedná o monotónní činnosti, které mají rutinní charakter [11].



Obr. 5: Kompenzační řízení v systému MMS

Tento regulační obvod s lidským operátorem v roli akčního členu má jednu charakteristickou vlastnost, a to že zpětná vazba se uzavírá přes lidské oko a nelze ji nikdy rozpojit. Tudíž kompenzační charakter je vždy přítomen.

5 MODELÝ ŘIDIČE

Řízení vozidla je nutno chápat jako komplexní činnost. Řidič nejen že ovládá dynamiku vozidla, ale současně vnímá okolí vozidla. Modely lidského řidiče lze kategorizovat podle způsobu řízení vozidla na modely pro:

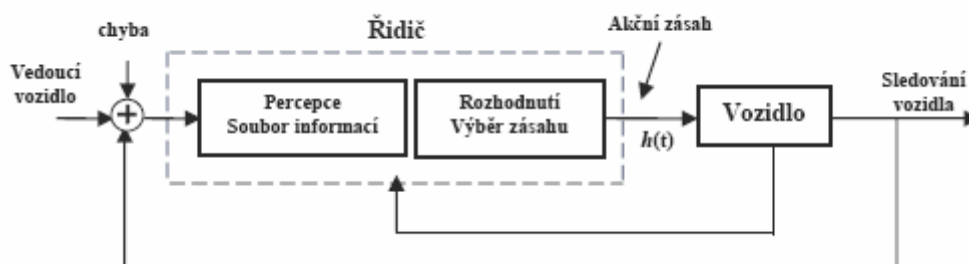
- příčné řízení vozidla, kterým se rozumí udržování směru vozidla a jeho polohy v jízdním pruhu,
- podélné řízení vozidla, které představuje řízení rychlosti vozidla a zrychlení vozidla v podélném směru.

5.1 MODELÝ PRO PODÉLNÉ ŘÍZENÍ

Řidič se chová jako aktivní prvek v systému *člověk – vozidlo* a na základě vizuální scény si uvědomuje aktuální situaci a předvídá budoucí vývoj jako následek svých akčních zásahů, řízení realizuje pomocí:

- percepce očních vjemů situace na vozovce,
- rozhodnutí a výběru adekvátního zásahu podle získaných a informací.

Řízení je výsledkem akčních zásahů $h(t)$, které jsou koordinovaně realizovány s určitou rozhodností, obratností a zejména průběžně podle stavu výstupu systému. Řidič se spoléhá na informace ze zpětné vazby, viz obr. 6.



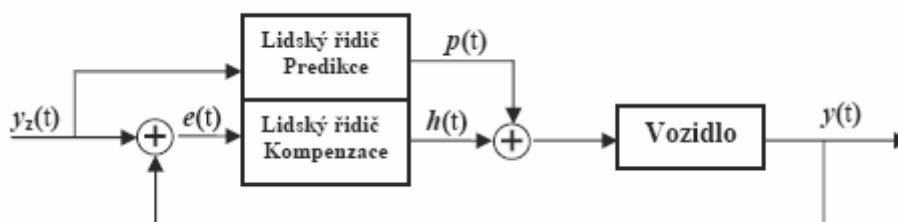
Obr. 6: Model řidiče pro podélné řízení

5.2 MODELÝ PRO PŘÍČNÉ ŘÍZENÍ

Příčné řízení vozidla je spojeno s činnostmi řidiče, kterými udržuje vozidlo v požadovaném směru jízdy a to tak, že soustavně kontroluje polohu vozidla vzhledem ke vztažné čáře, kterou je buď dělicí pruh nebo okraj vozovky.

5.2.1 Prediktivní kompenzační modely

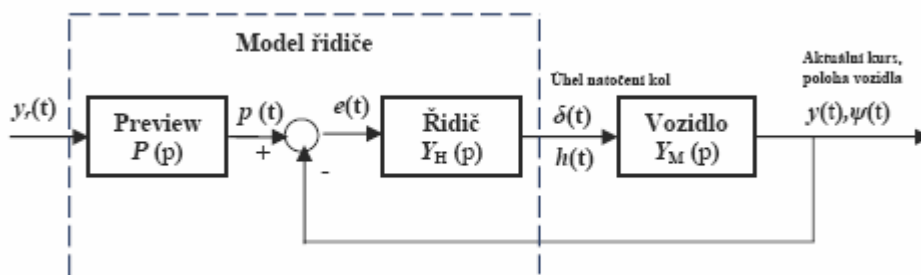
Prediktivní modely obecně jsou vytvářeny za předpokladu, že řidič je schopen odhadnout dopředu průběh trajektorie svého vozidla a konfrontovat ji s trajektorií požadovanou. Jedná se o modely, které četné literární zdroje [9],[10] nazývají dvěma výrazy „*Preview* nebo *Predictive Models*“. Prediktivní kompenzační modely vystihují dvě nejzákladnější schopnosti člověka a to predikci a korekci, viz obr. 7.



Obr. 7: Model prediktivního kompenzačního řízení

5.2.2 Modely „*preview*“

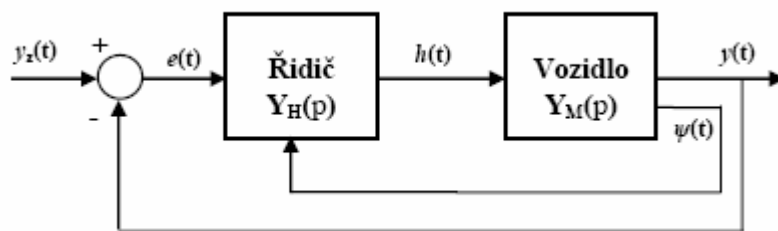
Pro modely označované termínem „*Preview*“ je charakteristické, že akční zásah řidiče $h(t)$, tedy pohyb volantu a natočení kol $\delta(t)$, je závislý na schopnosti představit si budoucí trajektorii vozidla $y_z(t)$, která je žádanou hodnotou a představuje jeden ze vstupních signálů. Další zdrojem informací řidiče je zpětnovazební signál o aktuální trajektorii vozidla $y(t)$, viz obr. 8.



Obr. 8: Model regulačního systému „*Preview*“ [9]

5.2.3 Modely řidiče s více vstupy

Lidský operátor v systémech *MMS* dokáže zpracovávat několik vstupních informací současně. Obecně se hovoří, že je zpětnovazebním regulátorem s více vstupy. Zpětnou vazbu představuje oko operátora a záleží jen na lidském myšlení a rozhodnutí, které zpětnovazební informace bude zpracovávat. K dispozici má např. informace ze zrkového pole o aktuální poloze vozidla $y(t)$ a kursu vozidla $\psi(t)$, viz obr. 9.



Obr. 9: Model řidiče s více vstupy

5.3 PŘENOSOVÉ FUNKCE ŘIDIČE

Přenosové funkce řidiče $Y_H(p)$ pro kompenzační příčné řízení vozidla mají v literárních zdrojích různou podobu. Základním a univerzálním tvarem je PID regulátor, neboť řidič podle aktuální situace využívá všech typů regulátorů, viz vztah (5.1):

$$Y_H(p) = K \cdot \left(1 + T_p p + \frac{T_p^2}{2} p^2 \right), \text{ kde} \quad (5.1)$$

K – zesílení řidiče,

T_p – časové konstanty charakterizující schopnosti vnímat a reagovat na aktuální situaci.

Crossoverův frekvenční model [7] určuje parametry akčního členu $Y_H(p)$ podle přenosu otevřené smyčky $F_0(p)$ tak, aby byla splněna stabilita regulovaného systému a aby vyhovoval rovnici (5.2)

$$F_0(p) = Y_H(p) \cdot Y_M(p) = \frac{\omega_c \cdot e^{-T_d p}}{p}, \text{ kde} \quad (5.2)$$

F_0 – přenos otevřené smyčky,

ω_c – frekvence řezu jako součin zesílení regulátoru a soustavy,

T_D – zpoždění odezvy řidiče.

Přenosová funkce ve tvaru (5.3) vychází z fyziologického popisu neuromuskulárního systému člověka. Je velmi často užívaná a podle složitosti modelu řidiče existuje ve více variantách. Podrobný rozbor časových konstant jako první realizoval v 60tých letech 20. století americký vědec Mc.Ruer pro modely autopilotů.

$$Y_H(p) = \frac{K \cdot e^{-T_d p} (T_L p + 1)}{(T_n p + 1) \cdot (T_l p + 1)}, \text{ kde} \quad (5.3)$$

T_D – konstanta udávající zpožděním odezvy mozku řidiče na oční vjem,

T_n – setrvačná konstanta udávající řidičovo zpoždění činnosti,

T_L – prediktivní konstanta související se zkušenostmi řidiče,

T_l – zpožďující setrvačná konstanta související s prováděním naučených stereotypů a rutinních postupů,

K – zesílení reprezentující řidičovy zvyklosti.

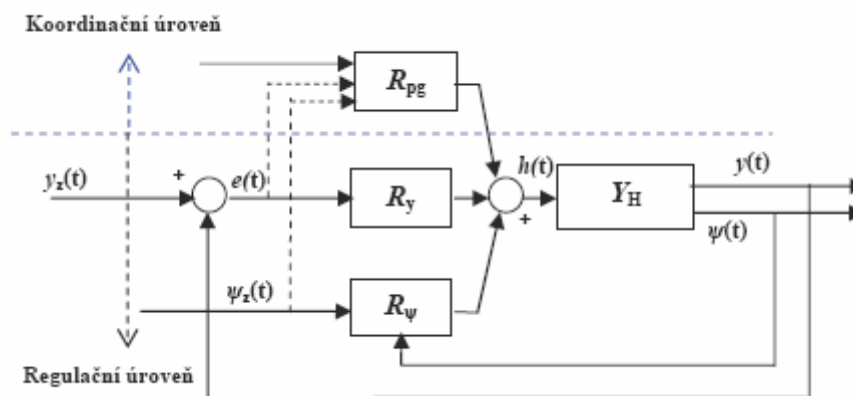
5.4 PROJEVY ÚNAVY A ŘÍZENÍ VOZIDLA

V praxi nelze únavu člověka měřit pomocí definovaných jednotek. Neexistuje ani jednotná metodika pro vyhodnocování stupně únavy. Rozlišují se druhy únavy, jako např. svalová únava, smyslová únava, duševní únava nebo únava vyvolaná nepříznivými faktory. Únava u člověka způsobuje poruchy vnímání, poruchy pohybové a vizuálně pohybové koordinace, poruchy pozornosti a koncentrace, mikrospánek, poruchy myšlení a snížení vnímání vzruchů. Zejména mikrospánek, jako neurofyzilogický jev, patří mezi nejnebezpečnější projev únavy, kdy člověk zcela ztratí kontrolu nad prováděnou činností a u řízení vozidla dochází ke kritickým následkům [15], [16].

Únava řidiče se projevuje jak na příčném, tak na podélném způsobu řízení vozidla a na všech úrovních řízení. Na příčném řízení jsou projevy únavy zřetelnější a prokazatelnější než na podélném řízení vozidla [17]. Příčné řízení má kompenzační charakter a regulační zásahy provádí ruka řidiče prostřednictvím volantu. Regulační obvod *oko – mozek – ruka* je uzavřený trvalou zpětnou vazbou přes lidské oko. Jde o nejvíce inervované orgány a kratší propojení nervových vzruchů, než je tomu v případě nohy, která provádí akční zásahy akcelerace a brzdění při podélném způsobu řízení vozidla [15].

Při příčném řízení vozidla řidič využívá tří různých typů regulátorů, viz obr.10:

- zpětnovazební prediktivní regulátor R_{ψ} , kterým udržuje požadovaný kurs $\psi_z(t)$,
- zpětnovazební kompenzační regulátor R_y , kterým řídí polohu $y(t)$ vozidla v jízdním pruhu,
- prekognitivní regulátor R_{pg} , kterým realizuje předem naučené programy a rutinní manévry patřící do koordinační úrovně řízení.



Obr. 10: Typy regulátorů pro příčné kompenzační řízení vozidla

6 SIMULAČNÍ MODELY ŘIDIČ-VOZIDLO

Ve skutečnosti chování řidiče neprobíhá podle lineárního modelu, nýbrž je zatíženo negativními vlivy nelineárních prvků, jako jsou hystereze, necitlivost,

saturace nebo nelineárně proměnné zesílení. Je obtížné tyto prvky identifikovat a zařadit do regulačního obvodu tak, aby odpovídaly fyziologické interpretaci.

Při návrhu přenosové funkce řidiče $Y_H(p)$ pro vyhodnocování únavového faktoru se vychází ze struktury modelu pro příčné kompenzační řízení. Vzhledem k tomu, že únava nastává nejčastěji při dlouhých monotónních jízdách při slabém provozu, kdy se akční zásahy $h(t)$ v podobě úhlu natočení kol $\delta(t)$ omezí na udržení vozidla v jízdním pruhu, je funkce prediktivního a prekognitivního regulátoru R_ψ , R_{pg} , viz obr.10, omezena a převládá činnost zpětnovazebního kompenzačního regulátoru R_Y .

Jako možné typy nelinearity v modelu řidiče byly zařazeny:

- necitlivost, která modeluje řidičovo rozhodování, zda bude na aktuální polohu vozidla $y(t)$ reagovat nebo vyhodnotí situaci tak, že akční zásah není nutný,
- saturace jako omezení velikosti akčního zásahu řidiče $\delta(t)$,
- proměnné zesílení, kdy řidič na malé hodnoty regulační odchylky $e(t)$ reaguje akčními zásahy s menší silou než v případě hodnot větších.

V programovém prostředí Matlab 7.01 byly vytvořeny simulační modely *řidič – vozidlo* pro dva typy vozidel:

- a) Vozidlo jedoucí po vozovce s malou křivostí. Přenosová funkce vozidla $Y_M(p)$ je odvozena od Ackermanova modelu vozidla [13] pro pohyb v rovině x, y souřadnicového systému $S_i(x, y, z)$, který je popsán stavovými rovnicemi (6.1):

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} y \\ v \\ \psi \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & u_0 & 0 \\ 0 & -\frac{C_{Fa} + C_{Ra}}{mu} & 0 & \frac{bC_{Ra} - aC_{Fa}}{mu} - u \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{bC_{Ra} - aC_{Fa}}{M_z u} & 0 & -\frac{a^2 C_{Fa} + b^2 C_{Ra}}{M_z u} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} y \\ v \\ \psi \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{C_{Fa}}{m} \\ 0 \\ \frac{aC_{Fa}}{M_z} \end{bmatrix} * \delta, \text{ kde} \quad (6.1)$$

m – hmotnost vozidla,

u – podélná rychlost vozidla ($u=20 \text{ ms}^{-1}$),

a, b – vzdálenosti středů přední a zadní nápravy od těžiště podvozku T ,

M_z – moment působící v těžišti podvozku při jízdě v rovině po křivočaré dráze,

δ – úhel natočení kol jako složka vstupního vektoru modelu vozidla

$y, v, \psi, \dot{\psi}$ – složky stavového vektoru vozidla (poloha vozidla, příčná rychlost,

C_{Fa}, C_{Ra} – koeficienty směrové tuhosti předního a zadního kola.

Úpravami stavových rovnic (6.1) a po dosazení technických údajů vozu *Škoda Felicia* nabude přenosová funkce tvaru (6.2):

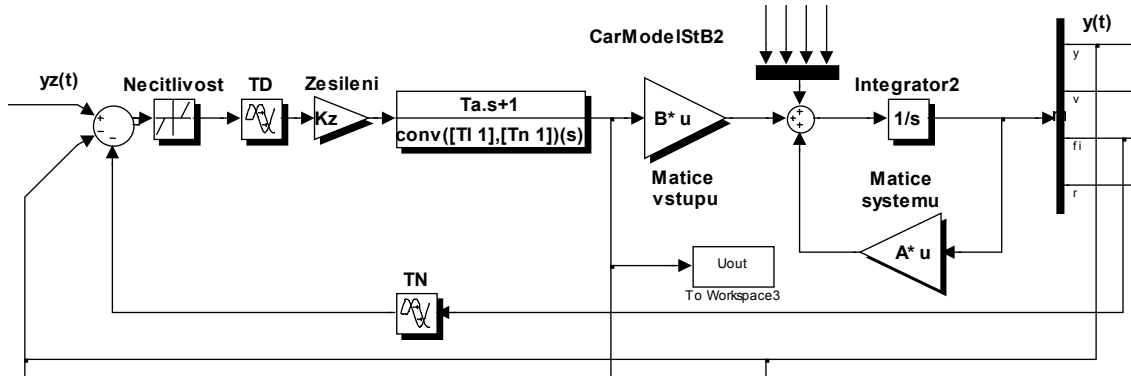
$$Y_M(p) = \frac{130,5p^2 + 920,2p + 13150}{p^4 + 18,9p^3 + 83,67p^2} = \frac{1}{p^2} \cdot \frac{1,5597 \cdot (p^2 + 7,051p + 100,8)}{(p + 0,1349) \cdot (p + 0,0886)} \quad (6.2)$$

Simulační model tohoto vozidla nese označení *CarModelSt*.

Přenosová funkce řidiče $Y_H(p)$ byla pro toto vozidlo volena ve tvaru:

$$Y_H(p) = K \frac{(T_L p + 1)}{(T_l + 1)(T_n p + 1)} e^{-p(T_D + T_N)} \quad (6.3)$$

K modelu vozidla *CarModelSt* byly vytvořeny varianty dalších simulačních modelů *řidič – vozidlo*, mající různá umístění nelinearity a dopravních zpoždění v modelu řidiče, což je jedním z cílů disertační práce. Varianty simulačních modelů jsou označeny *CarModelStxx*. Základní bloková strukturu těchto modelů je na obr. 11.



Obr. 11: Základní bloky simulačního modelu s vozidlem *CarModelSt*

- b) Vozidlo pro jízdu s vyšší křivostí zatáček. Přenosová funkce vozidla $Y_M(p)$ je opět odvozena od Ackermanova modelu [12], [13]. Vstupní složkou vektoru modelu vozidla není však úhel natočení kol δ , ale rychlost jeho natočení $\dot{\delta}$ [14]. Stavové rovnice, ve kterých se vyskytuje směrová úchylka řízeného kola α , jsou ve tvaru (6.4) :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \delta \\ \psi \\ \alpha \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{u}{a} & 0 & 0 & 0 \\ \left(\frac{1}{mu} - \frac{u}{a}\right) & 0 & -\frac{2}{mu} & 0 \\ 0 & u & u & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \delta \\ \psi \\ \alpha \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} * h, \text{ kde} \quad (6.4)$$

$$h = \frac{d\delta}{dt} \text{ je složka vstupního vektoru modelu vozidla} \quad (6.5)$$

Přenosová funkce vozidla $Y_M(p)$ získaná úpravami stavových rovnic (6.4) má po dosazení technických údajů vozu *Škoda Felicia* tvar (6.6) :

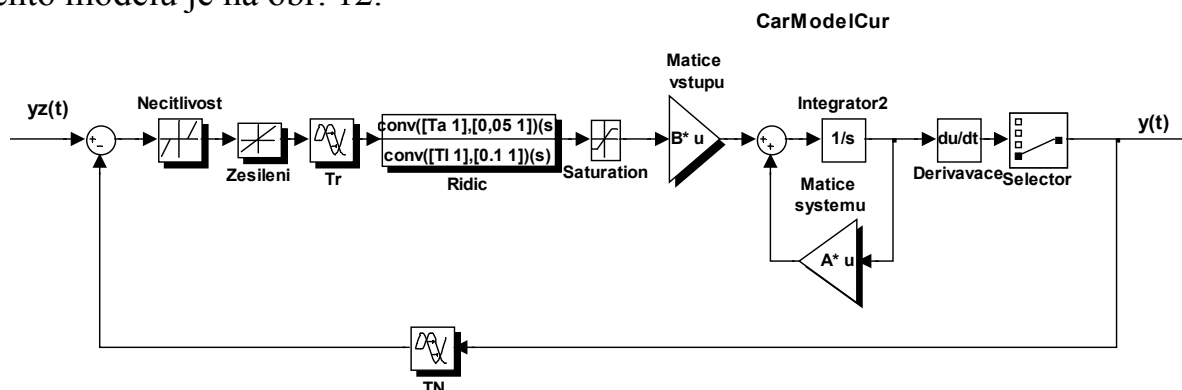
$$Y_M(p) = \frac{1}{m} \cdot \frac{\left(p + \frac{2u}{a}\right)}{\left(p + \frac{2}{mu}\right) \cdot p^2} = \frac{1,14p + 40}{1,62 \cdot 10^7 p^3 + 800p^2} = \frac{7.037 \cdot 10^{-8}(p + 35,09)}{p^2(p + 0,00011)} \quad (6.6)$$

Simulační model tohoto vozidla je označen *CarModelCur*

Přenosová funkce řidiče $Y_H(p)$ byla zvolena ve tvaru:

$$Y_H(p) = K \frac{(T_{Ly}p + 1) \cdot (T_{L\psi}p + 1)}{(T_l + 1)(T_n p + 1)} e^{-p(T_D + T_N)} \quad (6.6)$$

Rovněž k modelu vozidla *CarModelCur* byly vytvořeny varianty simulačních modelů řidič – vozidlo, mající různá umístění nelinearity a dopravních zpoždění v modelu řidiče, které jsou značeny *CarModelCurxx*. Základní bloková struktura těchto modelů je na obr. 12.



Obr. 12: Základní bloky simulačního modelu s vozidlem *CarModelCur*

6.1 SIMULACE PARAMETRŮ A ČASOVÝCH KONSTANT

Byly realizovány simulace parametrů a časových konstant sestavených modelů řidič - vozidlo pro různá umístění necitlivosti e a dopravních zpoždění e^{-T_D} , e^{-T_N} v regulačním obvodu podle aplikované přenosové funkce řidiče $Y_M(p)$. V tab.1 je uveden souhrnný přehled dosažených intervalů hodnot simulovaných parametrů pro modely s vozidlem *CarModelCur*, které je určeno pro jízdu s větší křivostí zatáček. U variant modelů *CarModelCurx2* je simulováno proměnné zesílení řidiče K_1 , K_2 v závislosti na velikosti regulační odchylky.

Tab. 1: Intervaly hodnot simulačních parametrů

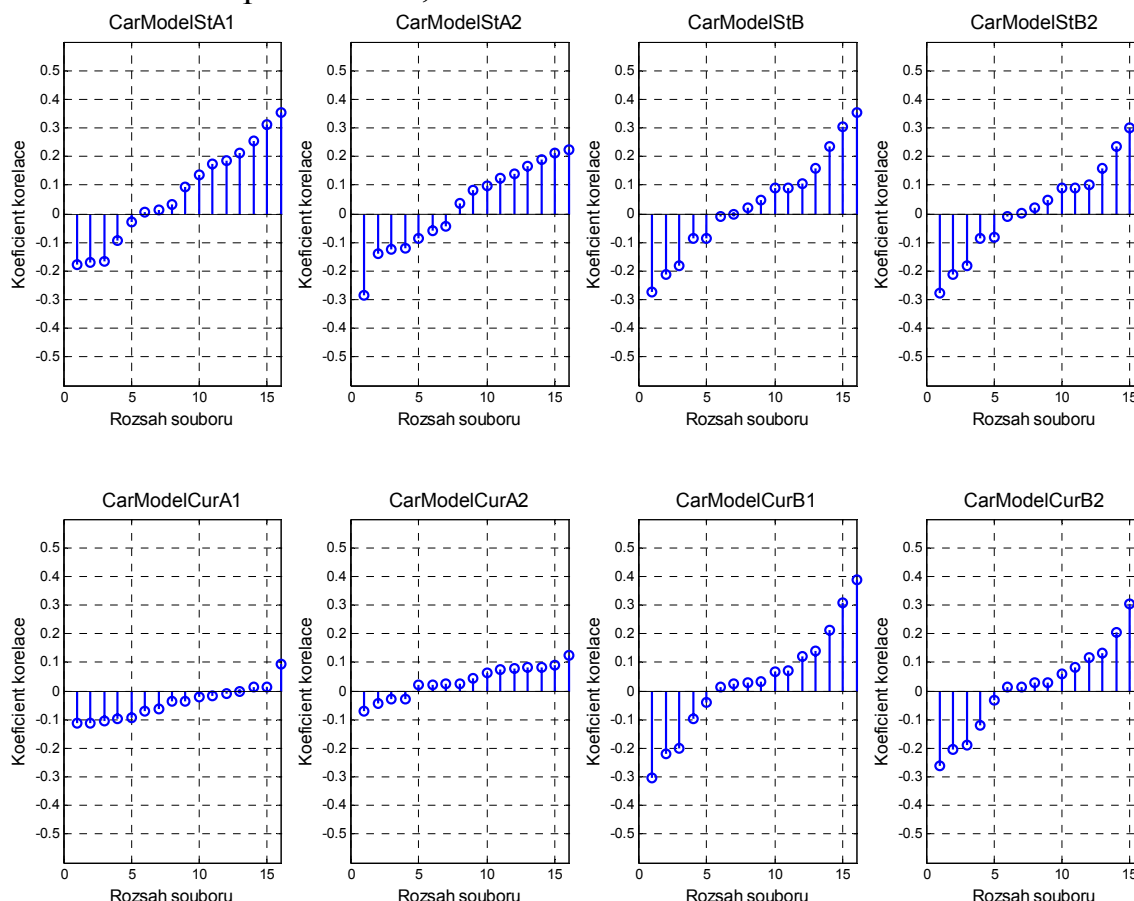
Parametr	Simulační model			
	Necitlivost v přímé větvi		Necitlivost ve zpětné vazbě	
	<i>CarModelCurA1</i>	<i>CarModelCurA2</i>	<i>CarModelCurB1</i>	<i>CarModelCurB2</i>
$T_a[s]$	1,7 – 3,0	1,7 – 3,0	1,6 – 2,7	1,6 – 2,7
$T_D[s]$	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,1 – 0,35	0,1 – 0,2
$T_l[s]$	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,2 – 0,4	0,2 – 0,5
$e[-]$	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,1 – 0,3	0,1 – 0,8
$K[-]$	2 – 20		2 – 5	
$K_1[-]$		1 – 10		0,4 – 3
$K_2[-]$		5 – 20		2 – 15

6.2 HODNOCENÍ KORELACE SIMULAČNÍCH JÍZD

Každá trajektorie jízdy simulačního modelu byla porovnána se souborem 16 jízdy skutečných řidičů na trenažéru. Hodnoty korelačního koeficientu $cor(X,Y)$ udávající míru závislosti mezi dvěma náhodnými veličinami (6.7), jimiž jsou jízda modelu X a jízda Y skutečného řidiče ze souboru.

$$cor(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.7)$$

Nejvyšší shodu se skutečnými jízdami dosahují simulační modely *CarModelStB*, *CarModelStB2*, *CarModelCurB1*, *CarModelCurB2*, které mají nelinearitv necitlivosti e ve zpětné vazbě, viz obr. 13.



Obr. 13: Korelační koeficienty simulačních modelů vzhledem k jízdám na trenažeru

7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH JÍZD

Veškerá experimentální data obsažena a zpracovávána v této disertační práci jsou získána se souhlasem pracoviště FD ČVUT Praha. Podklady pro řešení tohoto úkolu jsou získány na základě spolupráce s laboratorii výzkumného pracoviště Centra biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze a s Dopravní fakultou ČVUT Praha, které provádí výzkum únavového faktoru a mikrospánku řidiče.

Zvoleným analýzám jsou podrobeny soubory základních zkušebních jízd řidičů na dálnici, v tunelu, na trenažeru a také soubory zátěžových zkušebních jízd v průběhu celého dne za účelem detekovat charakter dynamiky jízdy řidičů bez znánek únavy a řidičů, jejichž jízdy jsou únavou ovlivněny. Všechny analýzy jsou

realizovány v programovém prostředí Matlab 7.01, kam byly exportovány datové zdrojové soubory ve formátu *txt*.

7.1 VÝSLEDKY STATISTICKÉ ANALÝZY

Statistická analýza souborů jízd řidičů bez známek prokázala, že významnými charakteristikami vypovídajícími o dynamice akčních zásahů řidiče jsou především charakteristiky polohy σ , All , $VZD3$:

$$\circ \text{ Směrodatná odchylka: } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (7.1)$$

$$\circ \text{ Allanova odchylka: } All = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (y_{i+1} - y_i)^2}{2(N-1)}} \quad (7.2)$$

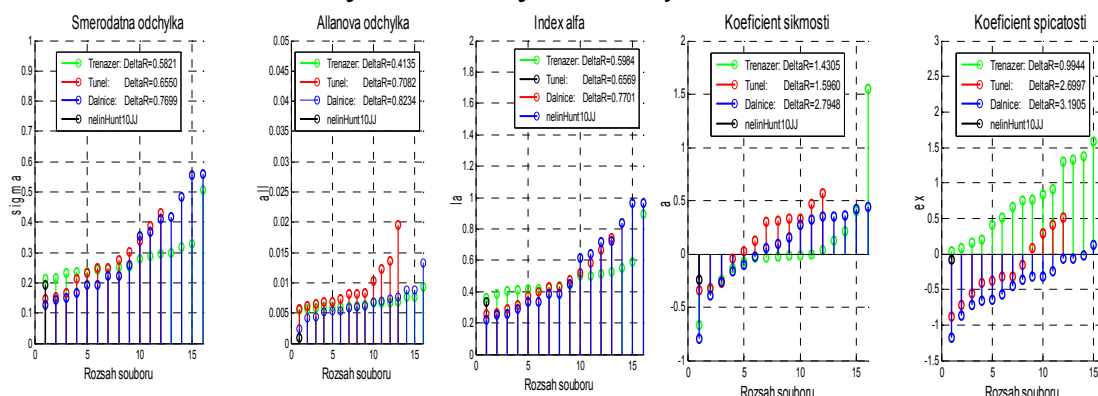
$$\circ \text{ Poincareho vzdálenost : } VZD3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-2} (y_{i+2}^2 + y_{i+1}^2 + y_i^2)}{N-2}} \quad (7.3)$$

Charakteristiky tvaru rozložení (7.4), (7.5) nabývají ve sledovaných souborech velmi rozdílných hodnot, viz obr.14, a tudíž z jejich hodnot se nedá usuzovat, zda se mění charakter jízdy řidiče vlivem únavy nebo jde o standardní jízdu.

$$\circ \text{ Koefficient šikmosti: } a = \frac{1}{N \cdot \sigma^3} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^3 \quad (7.4)$$

$$\circ \text{ Koefficient špičatosti: } ex = \frac{1}{N \cdot \sigma^4} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^4 - 3 \quad (7.5)$$

Ve vztazích pro výpočet statistických charakteristik je aktuální boční odchylka vozidla od vřtažné čáry značena symbolem y_i .



Obr. 14: Statistická analýza základních souborů jízd bez únavy, charakteristiky polohy a tvaru rozložení

7.2 W TEST NORMALITY STATISTICKÝCH SOUBORŮ

Pro ověření dostatečné věrohodnosti výsledků ze statistické analýzy u souborů jízd, jejichž rozsah se pohyboval v intervalu $10 < N < 20$, byl realizován W test

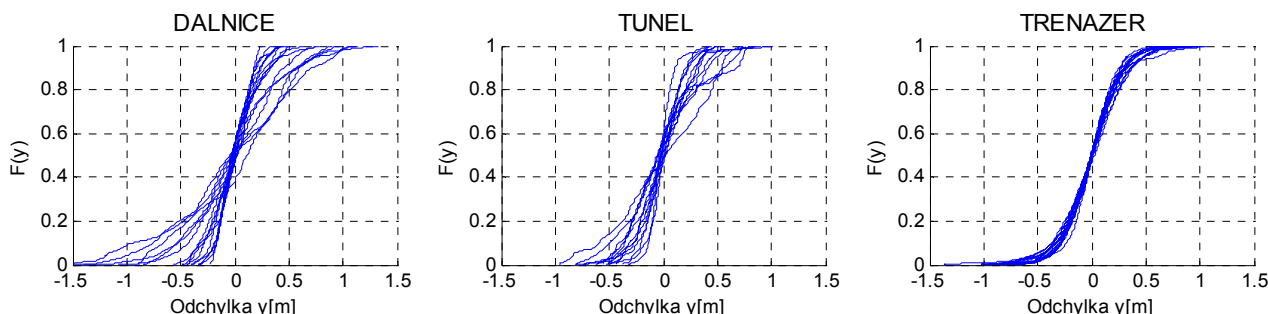
normality. Soubory charakteristik pro jízdy na trenažeru dosahují nejvyšších hodnot pravděpodobnosti $p = 99\%$ (hladina významnosti $\alpha=0,01$), se kterou se nezamítá jejich normální rozložení, viz tab.2. Hladina významnosti α je stanovena na základě porovnání dosažených hodnot testovacího kritéria W s tabulkovými kritickými hodnotami W^* [18].

Tab. 2: Test normality statistických parametrů polohy pro základní soubory jízd

	W TEST normality					
	Směrodatná odchylka σ		Allanova odchylka All		Poincareho vzdálenost $VZD3$	
	W	α	W	α	W	α
Trenažér $N=16$	0,73867	0,01	0,84283	0,01	0,7429	0,01
Tunel $N=13$	0,61638	0,01	0,79898	0,01	0,94043	0,5
Dálnice $N=16$	0,89354	0,1	0,92445	0,5	0,89361	0,1

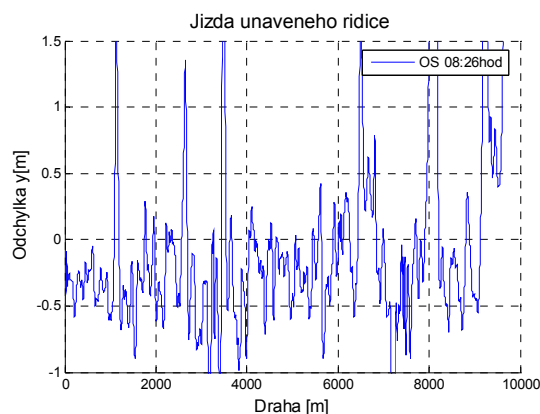
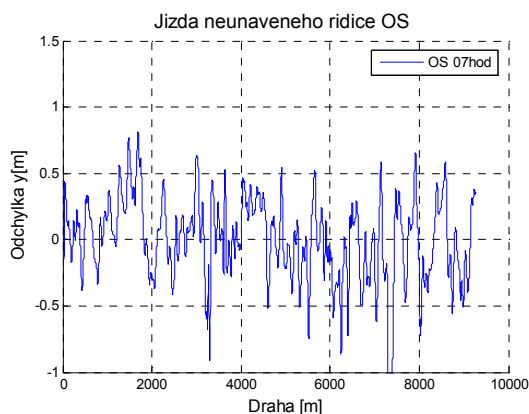
7.3 VÝSLEDKY PRAVDĚPODOBNOSTNÍ ANALÝZY

Pravděpodobnostní analýza byla zaměřena na vyhodnocení průběhů distribučních funkcí $F(y)$, viz obr.15 získaných na základě výpočtů kumulovaných četností bočních odchylek vozidla y_i od vztažné čáry na vozovce.

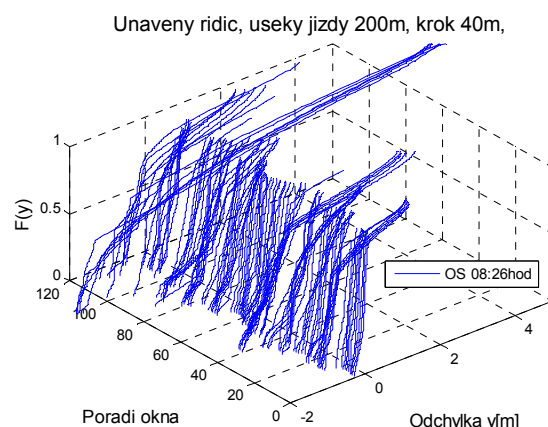
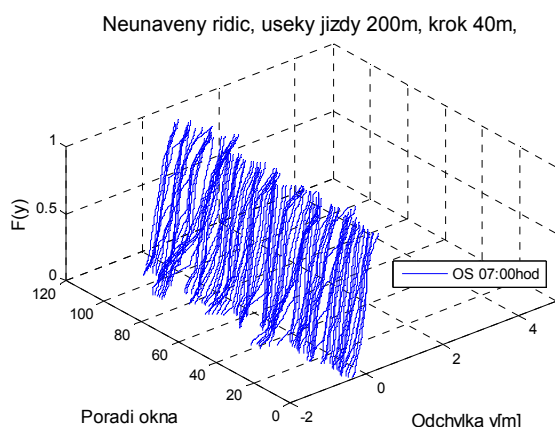


Obr. 15: Distribuční funkce hustoty $F(y)$ pro základní soubory jízd bez únavy

Průběh distribuční funkce bočních odchylek $F(y)$ vozidla na vozovce nese velmi dobrou informaci o tom, jaká je dynamika jízdy řidiče. Při postupném monitorování jízdy znázorněné na obr.16 po úsecích o zvolené délce 200 m s krokem 40 m je zřetelný rozdíl v průbězích $F(y)$ mezi jízdou neunaveného a unaveného řidiče OS, viz obr. 17.



Obr. 16: Časové záznamy zátěžových jízd, řidič OS



Obr. 17: Distribuční funkce $F(y)$ zátěžových jízd, řidič OS

7.4 VÝSLEDKY SPEKTRÁLNÍ ANALÝZY

Trajektorie jízd základních souborů a zátěžových jízd byly podrobeny spektrální analýze. Spektrum $F(m)$ transformovaného diskrétního signálu trajektorie jízdy je dáno vztahem:

$$F(m) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-j\omega k} = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} \cdot k \cdot m}, \text{ kde} \quad (7.6)$$

N – konečný počet vzorků,

$F(m)$ – diskrétní spektrum posloupnosti vzorků $f(k)$ jako posloupnost délky N ,

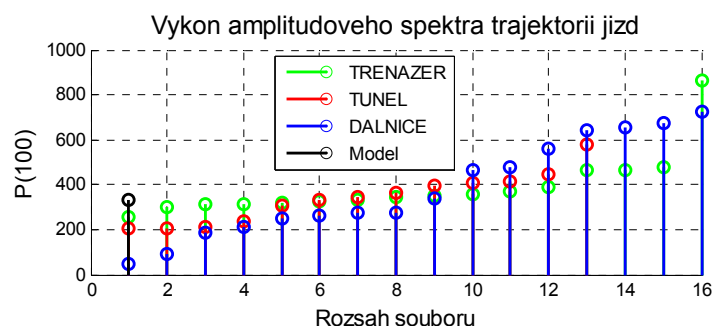
m – jsou diskrétní body kmitočtové osy, značí pořadí diskrétní frekvence a nabývají hodnot $m = 0, 1, 2, \dots, N-1$,

$f(k)$ – diskrétní posloupnosti vzorků z vektoru jízdy.

Pro kvantifikaci a míru vzájemného porovnání amplitudových spekter trajektorií jízd byl zvolen výkon spektra P daný vztahem:

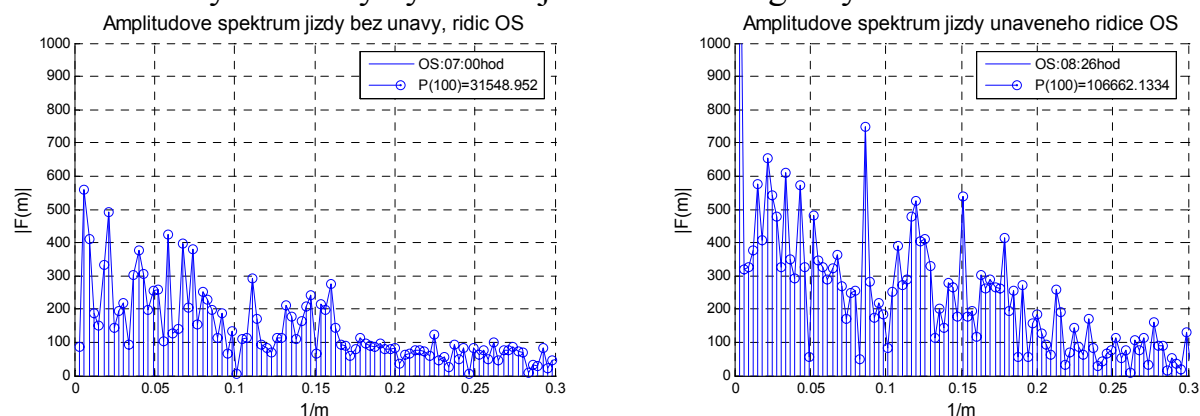
$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |f(k)|^2 \quad (7.7)$$

Na obr.18 je zobrazen přehled výkonů P amplitudových spekter základních jízd a jízdy simulačního modelu o 100 složkách.



Obr. 18: Výkony amplitudových spekter (100 složek), základní soubory jízd a model

Amplitudové spektrum $|F(m)|$ a jeho výkon P charakterizují rovněž dynamiku jízdy řidiče. Na obr.19 je zobrazeno amplitudové spektrum $|F(m)|$ (100 složek) jízdy řidiče OS bez únavy, kdy výkon spektra P je podstatně nižší, než při jízdě se známami únavy. Hodnoty výkonu P jsou součástí legendy obrázku.

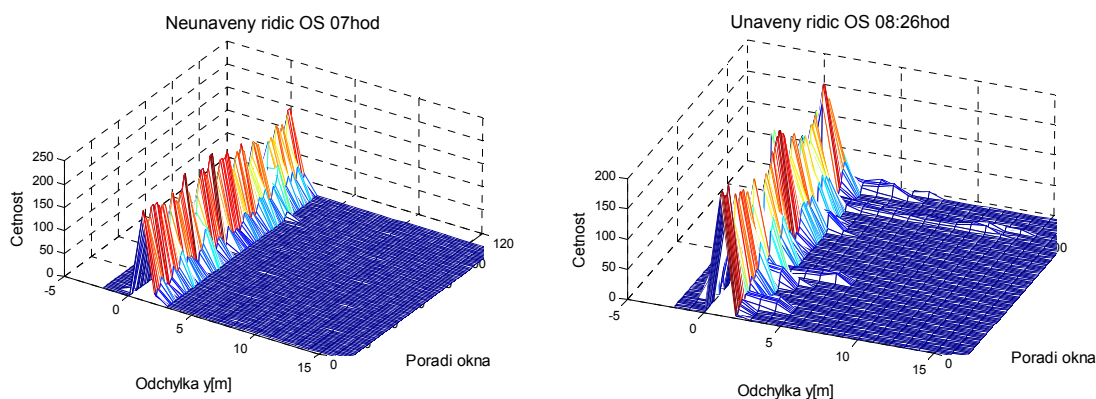


Obr. 19: Amplitudové spektrum jízdy unaveného a neunaveného řidiče OS

7.5 VÝSLEDKY ZÁTĚŽOVÝCH JÍZD ZA 24 HODIN

Zátěžové jízdy jsou realizovány na trenažeru a mají dva stupně zátěže. Řidič absolvuje opakovaně jízdy podle stupně zátěže v průběhu 24 hodin v délce 10 km nebo 30 km s časovým odstupem minimálně 2 hodiny.

Za účelem zjistit, kdy se mění charakter jízdy, kdy řidič začíná podléhat únavě, jsem navrhla postup průběžného monitorování jízdy po krátkých úsecích L s krokem K . Hodnoty obou parametrů lze programově měnit. Tímto postupem jsou získávány výsledky statistické, pravděpodobnostní i spektrální analýzy s grafickou interpretací. Na obr. 20 je výsledek pravděpodobnostní analýzy v podobě histogramů četností bočních odchylek vozidla y_i . Rozložení tříd histogramů u jízdy řidiče OS bez únavy je ve všech úsecích jízdy obdobné na rozdíl od jízdy zatížené únavou, kdy je rozložení tříd histogramů rozdílné. Je zřetelné, ve které části své jízdy měl řidič problémy s udržení vozidla na vozovce.



Obr. 20: Histogramy četností bočních odchylek y_i vozidla v úsecích jízdy, neunavený a unavený řidič OS

Jedním z významných kvantifikátorů změny charakteru jízdy je statistická charakteristika Allanova odchylka (7.2) hodnotící vzdálenosti mezi sousedními vzorky y_i, y_{i+1} . Nárůst hodnot ve sledovaných úsecích značí, že dochází k podstatné změně polohy vozidla na vozovce. Plynulá a déle trvající vyjíždění překrývající monitorovací úsek L jsou tímto postupem zachycena a detekována s mírným předstihem, který závisí na velikosti kroku K , viz obr. 21.



Obr. 21: Výsledky průběžného monitorování jízdy, řidič OS, parametr Allanova odchylka

8 ZÁVĚR

Předložená disertační práce se tématicky věnuje problematice systémů s lidským operátorem. Člověk, jako nedílná součást systému *MMS*, svojí činností a svým chováním technické systémy nejen řídí za účelem splnit zadané úkoly a cíle, ale ovlivňuje jejich funkčnost a spolehlivost. Schopnosti člověka a kvalita jeho regulačních zásahů je vysoká a rozhoduje o celkové bezpečnosti systému. Schopnosti člověka jsou však omezené. Ve srovnání s technickými komponentami systému *MMS*, člověk daleko dříve podléhá únavě a dokáže bezchybně vykonávat zadané činnosti pouze v horizontu několika hodin. Existují dvě možnosti, jak zabránit riziku lidského selhání. První z nich je člověka vyřadit z procesu řízení systému *MMS*. Tyto snahy jsou zatím úspěšné pouze na regulační úrovni řízení systému. Nedaří se plně nahradit lidské řídicí schopnosti na kognitivní úrovni, ve které člověk zapojuje do řízení svůj mozek a vědomí. Druhou možností je předejít riziku lidského selhání a odhalit, kdy člověk přestává svoji činnost bezchybně provádět. To lze uskutečnit na základě dokonalé znalosti lidských činností za normálních okolností a vyhodnocováním změn těchto činností v situacích, kdy člověk podléhá únavě. Touto problematikou se zabývá praktická část disertační práce na konkrétním systému *člověk – vozidlo*.

Teoretická část práce je podána jako souhrn poznatků o působení lidského operátora v systémech *MMS*. Jsou zde v přehledu uvedeny jak spolehlivostní aspekty, tak pravděpodobnostní kvantifikace lidských činností. Dále je práce zaměřena na popis lidského regulátoru a jeho neuromuskulárního systému, který je pohonným systémem a akčním členem. Na správné funkci a činnostech neuromuskulárního systému závisí kvalita akčních zásahů a regulačních dějů v systému *MMS*. Vlivem únavy se zhoršují schopnosti lidského regulátoru, tím je ohrožena spolehlivost a bezpečnost celého systému *MMS*.

Důležitým přínosem předložené práce je sestavení metodických podkladů pro hodnocení degradace činnosti lidského operátora. Byly sestaveny simulační modely systému *řidič – vozidlo*, ve kterých lze měnit parametry a časové konstanty přenosové funkce řidiče a sledovat kvalitu regulačních dějů. Simulační jízdy modelů lze pomocí programových skriptů v Matlab 7.01 porovnávat s jízdami skutečných řidičů na základě statistické, pravděpodobnostní a spektrální analýzy. U každého modelu je rovněž vyhodnocována korelační analýzou míra shody se zkušebními jízdami. Byla analyzována experimentální data ze zkušebních jízd řidičů v různých prostředích a při různé zátěži. Byly získány hodnoty významných statistických, pravděpodobnostních a spektrálních charakteristik u jízd řidičů bez známek únavy. Byla prokazatelně detekována změna dynamického projevu v jízdách unavených řidičů. Byl navržen postup průběžného monitorování jízdy, kdy je změna charakteru jízdy vyhodnocována aktuálně v každém sledovaném úseku a na základě znalosti výsledků z předcházejících pozorování lze odhalit nebezpečný stav vyjetí z jízdní dráhy. Předpokladem správné interpretace a vyhodnocení výsledků změn v chování řidiče je znalost významných charakteristik jízdy bez známek únavy.

9 LITERATURA

- [1] POWERS, W. F., NICASTRI, P. R.: Automotive vehicle control challenges in 21st century. *Control engineering practice*, 2000, 8(6), p. 605-618.
- [2] FABER, J., VOTRUBA, Z. et al.: Omezení spolehlivosti interakce řidiče s vozidlem, *Transportation and Telecommunication in the 3rd Millenium*, 10th Anniversary of the Foundation of the Faculty Transportation Science, Praha 2003
- [3] VYSOKÝ, P., VYSOKÝ, O.: Trendy v řízení automobilových systémů, *Automatizace*, roč. 2006, č. 4, s. 252-256. ISSN: 0005-125
- [4] PŘIBYLY, P. SVÍTEK, M.: *Dopravní telematika*. Ben, Praha 2001.
- [5] Cars21 A competitive automotive regulatory system for the 21 century: European commision, 2006.
- [6] McRUER, D.T.: A Neuromuscular Actuation System Model, *IEEE Transactions On Man-Machine Systems*, Vol. MMS-9, No.3, 1968
- [7] McRUER, D.T.: Human Dynamics in Man Machine Systems. *Automatica* (1980).
- [8] VÁCHA, M. a kol.: *Srovnávací fyziologie živočichů 2004*, Skripta, Masarykova univerzita v Brně, ISBN 80-210-3379-7
- [9] DAY, T.D. and METZ, L.D.: the Simulation of Driver Inputs a Vehicle Driver Model, *SAE 2000 World Congress*, Detroit, Michigan, March 6-9, 2000, ISSN 0148-7191
- [10] MacADAM, C. C.: Application of an Optimal Preview Control for Simulation of Closed-Loop Automobile Driving, *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Vol 11, No. 6 June 1981, p. 393-399
- [11] PENTLANG, A. et al. Modeling and Prediction of Human Behavior, *Neural Computation*, 11 p. 229-242, 1999
- [12] SHERIDIAN, T.B.: Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control, The MIT Press, Cambridge, 1992.
- [13] PENG, H., TOMIZUKA, M.: Lateral control of front-wheel steering rubber-tire vehicles, *Technical Report No. UCB-ITS-PRR-90-5*, Institute of Transportation Studies, Berkeley, CA, 1990
- [14] HUNT, K.J., HAAS, R.: Local controller network for autonomous vehicle steering, Daimler-Benz research and technology, *Kontrol Eng. Practice*, Vol.4, No.8, pp1045-1051, 1996
- [15] VYSOKÝ, P. Central fatigue identification of human operator (2001), *Neural network world* 11(5), p.525-535
- [16] BITTNER, R., SMRČKA, P., et al. (2001), Fatigue indicators of drowsy drivers based on analysis of physiological signals, *ISMDA 2001*, Madrid, Springer Verlag
- [17] VYSOKÝ, P. Dynamické vlastnosti lidského operátora jako řidiče, *Automatizace* 2003 12/46, str. 796-800
- [18] ZAPLETAL, J.: *Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky*, 1. vydání, Brno, PC-DIR, 1995-151 s, ISBN: 80-214-0711-5

10 PUBLIKACE

- [1] HAVLÍKOVÁ, M. Modely chování řidiče. *Elektrorevue - Internetový časopis* (<http://www.elektrorevue.cz>), 2004, roč. 2004, č. 22, s. 1-11. ISSN: 1213-1539
- [2] HAVLÍKOVÁ, M. Spolehlivostní modely a simulace lidského řidiče. *AT&P journal PLUS*, 2005, roč. 2005, č. 7, s. 13-18. ISSN: 1336-5010.
- [3] HAVLÍKOVÁ, M. Modely spolehlivosti lidského operátora. In *Kybernetika a společnost na prahu XXI.století*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2005. s. 53-60. ISBN: 80-214-3058-3.
- [4] HAVLÍKOVÁ, M. Models of human operator reliability. In Proceedings of the International Conference CEEPUS Summer School 2005 - Intelligent Control Systems. Brno: Brno University of Technology99, 2005. s. 199-203. ISBN: 80-214-2976-3.
- [5] TANNENBERG, M., HAVLÍKOVÁ, M. Detekce rizika náhlé srdeční smrti. *Elektrorevue - Internetový časopis* (<http://www.elektrorevue.cz>), 2005, roč. 2005, č. 16, s. 1-15. ISSN: 1213-1539.
- [6] HAVLÍKOVÁ, M. Pravděpodobnostní analýza spolehlivosti v systému člověk-stroj (1). *AT&P Journal*, 2006, roč. XIII.2006, č. 4, s. 56-57. ISSN: 1335-2237.
- [7] HAVLÍKOVÁ, M. Pravděpodobnostní analýza v systému člověk-stroj (2). *AT&P Journal*, 2006, roč. XIII.2006, č. 5, s. 85 (1 s.). ISSN: 1335-2237.
- [8] HAVLÍKOVÁ, M. Pravděpodobnostní analýza spolehlivosti v systému člověk-stroj (3). *AT&P Journal*, 2006, roč. XIII.2006, č. 6, s. 52-53. ISSN: 1335-2237.
- [9] HAVLÍKOVÁ, M. Pravděpodobnostní analýza spolehlivosti komunikace v systémech člověk-stroj. In *Systémová komunikace*. Hradec Králové: Universita Hradec Králové, 2006. s. 169-176. ISBN: 80-86771-15-6.
- [10] HAVLÍKOVÁ, M. Spolehlivost člověka a riziko jeho selhání v systémech MMS. *Automatizace*, 2006, roč. 2006, č. 7-8, s. 461-462. ISSN: 0005-125.
- [11] HAVLÍKOVÁ, M. Člověk jako regulátor v systémech MMS. *Automatizace*, 2007, roč. 2007, č. 6, s. 388-389. ISSN: 0005-125.
- [12] FIEDLER, P.; HAVLÍKOVÁ, M.; HONZÍK, P.; HRABEC, J.; HYNČICA, O.; KALOVÁ, I.; ŽALUD, L. Nové techniky a technologie pro kokpit. 2007. s. 1-60.
- [13] HAVLÍKOVÁ, M. Dynamika lidského operátora v systémech MMS. *Automatizace*, 2008, roč. 51, č. 1, s. 17-20. ISSN: 0005-125.

11 CURRICULUM VITAE

Jméno: Ing. Marie Havlíková

Narozena: 15. 6. 1957 v Dačicích

E-mail: havlika@feec.vutbr.cz

Adresa: ÚAMT FEKT VUT v Brně, Kolejní 2906/4, Brno 612 00

Telefon: +420 541 141 162

Vzdělání

1976–1981: FE VUT Brno , Obor Technická kybernetika, Katedra automatizace a měřicí techniky

2001– 2008: FEKT VUT Brno, postgraduální studium oboru Kybernetika,
automatizace a měření na Ústavu automatizace a měřicí techniky

Praxe

1981–1996: Výzkumný ústav zdravotnické techniky Brno, MEDIPO Brno
Samostatný výzkumný a vývojový pracovník
Spolupráce s autorizovanými zkušebnami a expertskými pracovišti.
Práce v metrologii a oddělení řízení jakosti.

1996–1999: UTES Elektronika a.s, DOVATRON CZ
Vedoucí zkušeben a testovacích pracovišť
Interní auditor
Řízení a koordinace výroby měřicích přístrojů,
Spolupráce s zahraničním výrobcem měřicí techniky Rohde-Schwarz

1999-dosud: Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UAMT
Odborný asistent

12 ABSTRACT

The doctoral thesis is thematically focused to human operator systems significantly contributing to this system reliability and safety. The theoretical part of the thesis is concerned with human activities and communications in *MMS* system, valuation and estimation of human reliability probability in *MSS*. The important part of the thesis is also a description of human operator neuromuscular system as an executive powerful system on *MMS* system regulating activities and the summary of human driver models in compensative lateral car control.

The practical part of the doctoral thesis is based on analyses created by experimental data of drives. Experimental drives were done on drivers set following different backgrounds and different sleep deprivation at whole day. All experimental data was realized from the cooperation and following the agreement of Faculty of Transportation Science research centre on Prague ČVUT. Another part of thesis includes driver simulation model proposals with nonlinear components for lateral car control. Simulation model drives are compared with real drives or drivers on drive-simulator and there are monitored identical and different dynamic movement characteristics.

The main target of doctoral thesis is to detect and obtain significant dynamical drive experience characteristics based on experimental data analyses. As well to found drive characters variability owing to driver's fatigue and determinated evaluated characteristics changes. Acquired results of thesis should help in assistant systems that in cooperation with other components alert to micro-sleep and run off drive possibility.